



Docket No.: 50212-585

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of	:	Customer Number: 20277
Manabu SHIOZAKI, et al	:	Confirmation Number: 7767
Serial No.: 10/809,884	:	Group Art Unit: 2872
Filed: March 26, 2004	:	Examiner: Not yet assigned
For: OPTICAL COMPONENT, OPTICAL DEVICE AND OPTICAL COMMUNICATIONS SYSTEM	:	

TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

Mail Stop Missing Parts  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following application:

**Japanese Patent Application No. 2003-090764, filed March 28, 2003.**

A copy of the priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT WILL & EMERY LLP

Brian K. Seidleck  
Registration No. 51,321

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
202.756.8000 BKS:etp  
Facsimile: 202.756.8087  
**Date: August 13, 2004**

Manabu Shiozaki et al.  
10/809,884

March 26, 2004

日 本 国 特 許 庁

50212-585

JAPAN PATENT OFFICE

McDermott Will & Emery LLP

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2003年 3月28日

出 願 番 号

Application Number:

特願2003-090764

ST.10/C ]:

[JP2003-090764]

出 願 人

Applicant(s):

住友電気工業株式会社

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2003年 6月 3日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎

出証番号 出証特2003-3043191

BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願

【整理番号】 103Y0076

【提出日】 平成15年 3月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 5/18

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会  
社横浜製作所内

    【氏名】 塩▼崎▲ 学

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会  
社横浜製作所内

    【氏名】 茂原 政一

【特許出願人】

    【識別番号】 000002130

    【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100088155

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

    【識別番号】 100089978

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

    【識別番号】 100092657

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学部品、光学装置および光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 平板の一方の面または該面に平行に内部に回折格子が形成された透過型の回折格子素子と、前記回折格子素子により回折された光を第 1 面に入力して第 2 面から出力するプリズムと、を備え、

前記プリズムが屈折率  $n_1$  の材料からなり、前記回折格子素子の両面が屈折率  $n_0$  の媒質に接しており、前記プリズムの前記第 1 面および前記第 2 面それぞれが屈折率  $n_0$  の媒質に接しており、

前記回折格子素子に波長  $\lambda$  の光が入射角  $\theta_0$  で入射するとして、前記回折格子素子から前記プリズムの前記第 1 面に入射する光の入射角を  $\theta_2$  とし、前記プリズムの前記第 2 面から出射する光の出射角を  $\theta_5$  とし、前記回折格子素子における回折角の温度係数を  $F_g$  とし、前記プリズムの前記第 1 面に入射する光の入射角  $\theta_2$  が温度に依らず一定であると仮定した場合に前記プリズムの前記第 2 面から出射する光の出射角  $\theta_5$  の温度係数を  $F_p$  とし、前記プリズムによる角分散の拡大率を  $M_p$  としたときに、

「 $n_1 > n_0$  かつ  $|\theta_5| > |\theta_2|$ 」または「 $n_1 < n_0$  かつ  $|\theta_5| < |\theta_2|$ 」なる関係式を満たすとともに「 $-2M_p F_g < F_p < 0$ 」または「 $-2M_p F_g > F_p > 0$ 」なる関係式を満たす前記波長  $\lambda$  および前記入射角  $\theta_0$  が存在する、

ことを特徴とする光学部品。

【請求項 2】 温度範囲  $-20^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$  に含まれる何れかの温度において「 $F_p = -M_p F_g$ 」なる関係式を満たすことを特徴とする請求項 1 記載の光学部品。

【請求項 3】 前記プリズムの前記第 2 面から出射する光の出射角  $\theta_5$  の温度係数を  $F_t$  とし、該出射角  $\theta_5$  の角分散を  $D_t$  としたときに、温度範囲  $-20^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$  に含まれる何れかの温度において比  $(F_t/D_t)$  の絶対値が  $0.4 \text{ pm}/^\circ\text{C}$  より小さいことを特徴とする請求項 1 記載の光学部品。

【請求項 4】 温度範囲  $-20^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$  に含まれる何れかの温度において比  $(F_t/D_t)$  の絶対値が  $0.2 \text{ pm}/^\circ\text{C}$  より小さいことを特徴とする請求項

3 記載の光学部品。

【請求項 5】 前記回折格子素子における角分散を  $D_g$  とし、該角分散  $D_g$  の温度係数を  $G_g$  とし、前記プリズムによる角分散の拡大率  $M_p$  の温度係数を  $H_t$  としたときに、「 $-2M_p G_g < H_t D_g < 0$ 」または「 $-2M_p G_g > H_t D_g > 0$ 」なる関係式を満たすことを特徴とする請求項 1 記載の光学部品。

【請求項 6】 温度範囲  $-20^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$  に含まれる何れかの温度において「 $-M_p G_g = H_t D_g$ 」なる関係式を満たすことを特徴とする請求項 5 記載の光学部品。

【請求項 7】 前記回折格子の格子周期を  $\Lambda$  としたときに積  $(n_0 \Lambda)$  の温度係数の値が負であり、比  $(n_1 / n_0)$  の温度係数が負であることを特徴とする請求項 1 記載の光学部品。

【請求項 8】 前記プリズムが半導体からなることを特徴とする請求項 1 記載の光学部品。

【請求項 9】 前記半導体がシリコンであることを特徴とする請求項 8 記載の光学部品。

【請求項 10】 請求項 1 記載の光学部品を含み、この光学部品により光を合波または分波することを特徴とする光学装置。

【請求項 11】 前記光学部品が筐体内に気密封止されていることを特徴とする請求項 10 記載の特徴とする光学装置。

【請求項 12】 請求項 10 記載の光学装置を含み、信号光を伝送するとともに、この光学装置において信号光を合波または分波することを特徴とする光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、回折格子素子を含む光学部品、この光学部品を含む光学装置、および、この光学装置を含む光通信システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

回折格子素子は、透明平板の一方の面または該面に平行に内部に回折格子が形成されたものである（例えば非特許文献 1 を参照）。この回折格子素子では、回折格子に入射した光は、その回折格子により回折される。そのときの光の回折角は、波長によって異なる。すなわち、格子周期  $\Lambda$  の回折格子に波長  $\lambda$  の光が入射角  $\theta_0$  で入射したとき、回折格子から出射される  $m$  次回折光の出射角  $\theta_1$  は、

【0 0 0 3】

【数 1】

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \sin \theta_0 + \frac{m\lambda}{n_0 \Lambda} \right) \quad \cdots (1)$$

なる式で表され、波長  $\lambda$  によって異なる。ここで、 $n_0$  は回折格子素子の周囲の媒質の屈折率である。

【0 0 0 4】

このように、この回折格子素子は、入射した光を分波して出射する光分波器として用いられ得る。また、この回折格子素子は、上記の場合とは逆の方向に光を導く場合には、入射した光を合波して出射する光合波器として用いられ得る。さらに、回折格子素子と他の光学素子とを組み合わせることで、例えば、波長に応じて光の群遅延時間を調整する分散調整器を構成することもできる。したがって、回折格子素子は、多波長の信号光を多重化して伝送する波長分割多重（WDM：Wavelength Division Multiplexing）光通信システムにおいて重要な光デバイスの 1 つとなっている。

【0 0 0 5】

また、このような回折格子素子では、角分散  $D_g$ （回折角  $\theta_1$  の波長依存性）の絶対値が大きいほど、光合分波等が容易となる点で好ましい。ここで、角分散  $D_g$  は

【0 0 0 6】

【数 2】

$$D_g = \frac{\partial \theta_1}{\partial \lambda} = \frac{m}{n_0 \Lambda \cos \theta_1} \quad \dots (2)$$

なる式で表される。

【0007】

【非特許文献 1】

小館香椎子、「回折光学の発展と新展開」、日本女子大学紀要、理学部、第 10 号、pp.7-24, (2002)

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、回折格子素子に入射する光の波長および入射角が一定であっても、温度に依存して回折角が変化する。WDM 光通信システムで用いられる場合に、回折格子素子における回折角が変化すると、これに因り、信号光の損失が大きくなり、或いは、信号光の波形が劣化して、通信エラーが生じる場合がある。このような通信エラーを抑制するために、従来では、回折格子素子の温度を一定に制御するアクティブな温度制御機構を設ける必要があった。しかし、温度制御機構を設けることはシステムコストの増加を引き起こし、また、温度制御機構に対する電力供給が必要であることからシステムコストの増加を引き起こしていた。

【0009】

また、角分散の絶対値を大きくするには、上記(2)式から判るように、回折次数  $m$  または回折角  $\theta_1$  の絶対値を大きくすることが考えられ、また、格子周期  $\Lambda$  を小さくすることが考えられる。しかし、前者の場合には回折効率が小さくなり、また、後者の場合には回折格子の加工が困難となることから、角分散の絶対値を大きくするにも限界があった。特に、従来の回折格子素子では、回折角の温度依存性の低減と角分散の絶対値の拡大との双方を実現することができなかった。

【0010】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、角分散の絶対値を



大きくすることができるとともに回折角の温度依存性を低減することができる光学部品を提供することを目的とする。

# 【 0 0 1 1 】

## 【課題を解決するための手段】

本発明に係る光学部品は、平板の一方の面または該面に平行に内部に回折格子が形成された透過型の回折格子素子と、回折格子素子により回折された光を第1面に入力して第2面から出力するプリズムと、を備え、プリズムが屈折率 $n_1$ の材料からなり、回折格子素子の両面が屈折率 $n_0$ の媒質に接しており、プリズムの第1面および第2面それぞれが屈折率 $n_0$ の媒質に接しており、回折格子素子に波長 $\lambda$ の光が入射角 $\theta_0$ で入射するとして、回折格子素子からプリズムの第1面に入射する光の入射角を $\theta_2$ とし、プリズムの第2面から出射する光の出射角を $\theta_5$ とし、回折格子素子における回折角の温度係数を $F_g$ とし、プリズムの第1面に入射する光の入射角 $\theta_2$ が温度に依らず一定であると仮定した場合にプリズムの第2面から出射する光の出射角 $\theta_5$ の温度係数を $F_p$ とし、プリズムによる角分散の拡大率を $M_p$ としたときに、「 $n_1 > n_0$ かつ $|\theta_5| > |\theta_2|$ 」または「 $n_1 < n_0$ かつ $|\theta_5| < |\theta_2|$ 」なる関係式を満たすとともに「 $-2M_p F_g < F_p < 0$ 」または「 $-2M_p F_g > F_p > 0$ 」なる関係式を満たす上記波長 $\lambda$ および上記入射角 $\theta_0$ が存在することを特徴とする。このように構成される光学部品は、出射角 $\theta_5$ の角分散の絶対値を拡大するとともに、該出射角 $\theta_5$ の温度依存性を低減することができる。

# 【 0 0 1 2 】

なお、上記波長 $\lambda$ は、この光学部品における使用波長帯域内にあるのが好適である。例えば、この光学部品が光通信に用いられる場合には、上記波長 $\lambda$ は、波長帯域 $1.26 \mu\text{m} \sim 1.675 \mu\text{m}$ 内に含まれるのが好適であり、特にCバンド（波長 $1.53 \sim 1.565 \mu\text{m}$ ）内またはLバンド（波長 $1.565 \sim 1.625 \mu\text{m}$ ）内に含まれるのが好適である。また、上記関係式は、この光学部品が用いられる環境の温度範囲内で満たされるのが好適である。例えば、この光学部品が光通信に用いられる場合には、上記関係式は温度範囲 $-20^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$ 内で満たされるのが好適である。

## 【 0 0 1 3 】

本発明に係る光学部品は、温度範囲  $-20^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$  に含まれる何れかの温度において「 $F_p = -M_p F_g$ 」なる関係式を満たすのが好適であり、この場合には、上記温度範囲内の何れかの温度で、出射角  $\theta_5$  の温度係数を 0 にすることができる。

## 【 0 0 1 4 】

本発明に係る光学部品は、プリズムの第 2 面から出射する光の出射角  $\theta_5$  の温度係数を  $F_t$  とし、該出射角  $\theta_5$  の角分散を  $D_t$  としたときに、温度範囲  $-20^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$  に含まれる何れかの温度において、比  $(F_t/D_t)$  の絶対値が  $0.4 \text{ pm}/^{\circ}\text{C}$  より小さいのが好適であり、この場合には、信号光の光周波数間隔が  $100 \text{ GHz}$  である光通信において好適に用いられ得る。また、比  $(F_t/D_t)$  の絶対値が  $0.2 \text{ pm}/^{\circ}\text{C}$  より小さいのが更に好適であり、この場合には、信号光の光周波数間隔が  $50 \text{ GHz}$  である光通信において好適に用いられ得る。

## 【 0 0 1 5 】

本発明に係る光学部品は、回折格子素子における角分散を  $D_g$  とし、該角分散  $D_g$  の温度係数を  $G_g$  とし、プリズムによる角分散の拡大率  $M_p$  の温度係数を  $H_t$  としたときに、「 $-2M_p G_g < H_t D_g < 0$ 」または「 $-2M_p G_g > H_t D_g > 0$ 」なる関係式を満たすのが好適であり、この場合には、出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  の温度依存性を低減することができる。また、温度範囲  $-20^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$  に含まれる何れかの温度において「 $-M_p G_g = H_t D_g$ 」なる関係式を満たすのが好適であり、この場合には、上記温度範囲内の何れかの温度で、出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  の温度係数を 0 にすることができる。

## 【 0 0 1 6 】

本発明に係る光学部品は、回折格子の格子周期を  $\Lambda$  としたときに積  $(n_0 \Lambda)$  の温度係数の値が負であり、比  $(n_1/n_0)$  の温度係数が負であるのが好適である。また、本発明に係る光学部品は、プリズムが半導体からなるのが好適であり、この半導体がシリコンであるのが好適である。これらの場合には、出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  の絶対値を拡大するとともに、該出射角  $\theta_5$  の温度依存性を低減する上で好都合であり、また、該角分散  $D_t$  の温度依存性を低減する上でも好都合で

ある。

#### 【 0 0 1 7 】

本発明に係る光学装置は、上記の本発明に係る光学部品を含み、この光学部品により光を合波または分波することを特徴とする。光学部品が筐体内に気密封止されているのが好適である。本発明に係る光通信システムは、上記の本発明に係る光学装置を含み、信号光を伝送するとともに、この光学装置において信号光を合波または分波することを特徴とする。この光学装置は、角分散が大きく温度依存性が小さい光学部品を含むことから、小型化可能であり、また、温度制御機構を不要化または簡略化することができる。

#### 【 0 0 1 8 】

##### 【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。なお、各図には、説明の便宜のために  $x y z$  直交座標系が示されている。また、以下では、屈折率  $n_0$ 、 $n_1$  の波長依存性は、回折格子の角分散より十分に小さいので、無視する。

#### 【 0 0 1 9 】

先ず、本発明に係る光学部品の実施形態について説明する。図 1 は、本実施形態に係る光学部品 1 の説明図である。この図に示される光学部品 1 は、回折格子素子 1 0 およびプリズム 2 0、ならびに、これらの周囲にある屈折率  $n_0$  の媒質を備える。回折格子素子 1 0 は、 $x y$  平面に平行な 2 面を有する透明平板において、そのうちの一方の面（上面）に格子周期  $\Lambda$  の回折格子が形成されている。この回折格子における周期的な凸条または凹溝の各々は、 $x$  軸に平行な方向に延在する。プリズム 2 0 は、屈折率  $n_1$  の透明材料からなり、互いに平行ではない第 1 面 2 1 および第 2 面 2 2 を有する。第 1 面 2 1 および第 2 面 2 2 それぞれは  $x$  軸に平行である。

#### 【 0 0 2 0 】

このような光学部品 1 において、 $x y$  平面に対する第 1 面 2 1 の傾斜角を  $\phi_0$  と表し、第 1 面 2 1 に対する第 2 面 2 2 の傾斜角を  $\phi_1$  と表す。すなわち、第 2

面22は、 $xy$ 平面に対して角度 $(\phi_1 + \phi_2)$ だけ傾斜している。また、回折格子素子10に入射する光の波長を $\lambda$ と表し、回折格子素子10に入射する光の入射角を $\theta_0$ と表し、回折格子素子10から出射する透過 $m$ 次回折光の出射角を $\theta_1$ と表し、プリズム20の第1面21に入射する光の入射角を $\theta_2$ と表し、プリズム20の第1面21において屈折する光の屈折角を $\theta_3$ と表し、プリズム20の内部から第2面22に入射する光の入射角を $\theta_4$ と表し、プリズム20の第2面22から出射する光の出射角を $\theta_5$ と表す。なお、角度 $\phi_0, \phi_1, \theta_0 \sim \theta_5$ および回折次数 $m$ それぞれは、図中に示された向きのとくに正とする。

【0021】

回折格子素子10における回折角 $\theta_1$ の温度係数 $F_g$ 、および、回折格子素子10における角分散 $D_g$ （上記(2)式）の温度係数 $G_g$ それぞれは、

【0022】

【数3】

$$F_g = \frac{\partial \theta_1}{\partial T} = -\frac{\lambda D_g}{n_0 \Lambda} \frac{d}{dT} (n_0 \Lambda) \quad \cdots (3)$$

【数4】

$$G_g = \frac{\partial D_g}{\partial T} = \left( \frac{1}{\lambda} + D_g \tan \theta_1 \right) F_g \quad \cdots (4)$$

なる式で表される。ここで、 $T$ は温度変数である。

【0023】

また、角度 $\phi_0, \phi_1, \theta_0 \sim \theta_5$ の間には、

【0024】

【数 5】

$$\sin \theta_1 = \sin \theta_0 + \frac{m\lambda}{n_0 \Lambda} \quad \cdots (5a)$$

$$\theta_2 = \theta_1 + \phi_0 \quad \cdots (5b)$$

$$n_1 \sin \theta_3 = n_0 \sin \theta_2 \quad \cdots (5c)$$

$$\theta_4 = \theta_3 + \phi_1 \quad \cdots (5d)$$

$$n_0 \sin \theta_5 = n_1 \sin \theta_4 \quad \cdots (5e)$$

なる関係式が成り立つ。

【0 0 2 5】

プリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  は、

【0 0 2 6】

【数 6】

$$D_t = \frac{\partial \theta_5}{\partial \lambda} = M_p D_g \quad \cdots (6)$$

なる式で表される。ここで、 $M_p$  は、出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  と出射角  $\theta_1$  の角分散  $D_g$  との比、すなわち、プリズム 2 0 による角分散の拡大率を表しており、

【0 0 2 7】

【数 7】

$$M_p = \frac{\cos \theta_2 \cos \theta_4}{\cos \theta_3 \cos \theta_5} \quad \cdots (7)$$

なる式で表される。

【0 0 2 8】

プリズム 2 0 による角分散の拡大率  $M_p$  の絶対値が 1 より大きければ、プリズム 2 0 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  は、回折格子素子 1 0 から出射する光の出射角  $\theta_1$  の角分散  $D_g$  より大きくなる。その為の条件は、

【 0 0 2 9 】

【数 8】

$$\begin{aligned} & \{(7)\text{式の分子}\}^2 - \{(7)\text{式の分母}\}^2 \\ &= \frac{1}{n_1^2} (n_1^2 - n_0^2) (\sin^2 \theta_5 - \sin^2 \theta_2) > 0 \quad \cdots (8) \end{aligned}$$

なる式で表され、さらに、この(8)式から、

【 0 0 3 0 】

【数 9】

$$n_1 > n_0 \quad \text{かつ} \quad |\theta_5| > |\theta_2| \quad \cdots (9a)$$

または

$$n_1 < n_0 \quad \text{かつ} \quad |\theta_5| < |\theta_2| \quad \cdots (9b)$$

なる式で表される。

【 0 0 3 1 】

この(9)式で表されるように、プリズム 2 0 の屈折率  $n_1$  が周囲媒質の屈折率  $n_0$  より大きいときには、出射角の絶対値  $|\theta_5|$  が入射角の絶対値  $|\theta_2|$  より大きくなるように、プリズム 2 0 の屈折率  $n_1$ 、第 1 面 2 1 の傾斜角  $\phi_0$  および第 2 面 2 2 の傾斜角  $\phi_1$  が適切に設計されればよい。一方、プリズム 2 0 の屈折率  $n_1$  が周囲媒質の屈折率  $n_0$  より小さいときには、出射角の絶対値  $|\theta_5|$  が入射角の絶対値  $|\theta_2|$  より小さくなるように、プリズム 2 0 の屈折率  $n_1$ 、第 1 面 2 1 の傾斜角  $\phi_0$  および第 2 面 2 2 の傾斜角  $\phi_1$  が適切に設計されればよい。このようにすることにより、プリズム 2 0 による角分散の拡大率  $M_p$  の絶対値が 1 より大きな値となり、光学部品 1 全体の角分散  $D_t$  は、回折格子素子 1 0 単体の角分散  $D_g$  より大きくなる。

【 0 0 3 2 】

次に、プリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の温度依存性の低減について説明する。この光学部品 1 においてプリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の温度係数  $F_t$  は、

【 0 0 3 3 】

【数 1 0】

$$F_t = \frac{\partial \theta_5}{\partial T} = M_p F_g + F_p \quad \dots (10)$$

なる式で表される。

【 0 0 3 4 】

ここで、 $F_p$ は、プリズム 2 0 の第 1 面 2 1 に入射する光の入射角  $\theta_2$  が温度に依らず一定であると仮定した場合にプリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の温度係数である。この温度係数  $F_p$  は、

【 0 0 3 5 】

【数 1 1】

$$F_p = M_p \frac{\sin \phi_1}{\cos \theta_2 \cos \theta_4} \frac{d}{dT} \left( \frac{n_1}{n_0} \right) \quad \dots (11)$$

なる式で表される。

【 0 0 3 6 】

したがって、上記 (10) 式から、

【 0 0 3 7 】

【数 1 2】

$$-2M_p F_g < F_p < 0 \quad \dots (12a)$$

または

$$-2M_p F_g > F_p > 0 \quad \dots (12b)$$

なる関係式が満たされれば、この光学部品 1 においてプリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の温度係数  $F_t$  の絶対値は、回折格子素子 1 0 から出射する光の出射角  $\theta_1$  の温度係数  $F_g$  にプリズム 2 0 による角分散の拡大率  $M_p$  を乗じた値の絶対値より小さくなる。

【 0 0 3 8 】

また、温度範囲  $-20^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$  に含まれる何れかの温度において、

【 0 0 3 9 】

【数 1 3】

$$F_p = -M_p F_g \quad \dots (13)$$

なる関係式が満たされるのが好適である。この場合には、光学部品 1 においてプリズム 20 の第 2 面 22 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の温度係数  $F_t$  の絶対値は、この (13) 式が満たされる温度において 0 となり、また、上記温度範囲において小さい。

【0 0 4 0】

このような光学部品 1 が波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 光通信において用いられる場合、温度範囲  $-20^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$  に含まれる何れかの温度において、

【0 0 4 1】

【数 1 4】

$$\left| \frac{F_t}{D_t} \right| = \left| \frac{F_g}{D_g} + \frac{F_p}{M_p D_g} \right| \quad \dots (14)$$

なる式で表される比 ( $F_t/D_t$ ) の絶対値は小さい方が好ましい。ここで、比 ( $F_t/D_t$ ) は、プリズム 20 出射後の或る観測位置に到達する光の波長の温度依存性を表している。

【0 0 4 2】

例えば、信号光の光周波数間隔が  $100\text{GHz}$  である場合には、温度範囲  $-20^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$  に含まれる何れかの温度において、比 ( $F_t/D_t$ ) の絶対値は  $0.4\text{pm}/^{\circ}\text{C}$  ( $=40\text{pm}/100^{\circ}\text{C}$ ) より小さいのが好適である。また、信号光の光周波数間隔が  $50\text{GHz}$  である場合には、温度範囲  $-20^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$  に含まれる何れかの温度において、比 ( $F_t/D_t$ ) の絶対値は  $0.2\text{pm}/^{\circ}\text{C}$  ( $=20\text{pm}/100^{\circ}\text{C}$ ) より小さいのが好適である。

【0 0 4 3】

次に、プリズム 20 の第 2 面 22 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  の温度依存性の低減について説明する。以上のようにしてプリズム 20 の第 2 面 22



から出射する光の出射角  $\theta_5$  の温度依存性が低減されたとしても、該出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  の温度依存性が大きいと、温度が変化したときに、或る 1 波長については出射角  $\theta_5$  が略一定であっても、他の波長については出射角  $\theta_5$  が大きく変化する。そこで、角分散  $D_t$  の温度依存性も小さいことが望まれる。

【 0 0 4 4 】

プリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  の温度係数  $G_t$  は、

【 0 0 4 5 】

【数 1 5】

$$G_t = \frac{\partial D_t}{\partial T} = M_p G_g + H_t D_g \quad \dots (15a)$$

$$H_t = A_p + B_p F_t = \frac{\partial M_p}{\partial T} \quad \dots (15b)$$

なる式で表される。ここで、 $H_t$  は、プリズム 2 0 による角分散の拡大率  $M_p$  の温度係数である。また、この温度係数  $H_t$  の式中のパラメータ  $A_p$  および  $B_p$  それぞれは、

【 0 0 4 6 】

【数 1 6】

$$A_p = F_p \left( \tan \theta_2 + \frac{n_0 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_3} \tan \theta_4 \right) \quad \dots (16a)$$

$$B_p = M_p \tan \theta_5 - \tan \theta_2 + (\tan \theta_3 - \tan \theta_4) \frac{n_0 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_3} \quad \dots (16b)$$

なる式で表される。

【 0 0 4 7 】

温度係数  $F_t$  が既に十分に小さい値とされているから、上記 (15) 式において、温度係数  $F_t$  を因数として含む項を無視してもよい。また、

【 0 0 4 8 】

【数 1 7】

$$-2M_p G_g < H_t D_g < 0 \quad \dots (17a)$$

または

$$-2M_p G_g > H_t D_g > 0 \quad \dots (17a)$$

なる関係式が満たされれば、この光学部品 1 においてプリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  の温度係数  $G_t$  の絶対値は、回折格子素子 1 0 から出射する光の出射角  $\theta_1$  の角分散  $D_g$  の温度係数  $G_g$  にプリズム 2 0 による角分散の拡大率  $M_p$  を乗じた値の絶対値より小さくなる。

【0 0 4 9】

また、温度範囲  $-20^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$  に含まれる何れかの温度において、

【0 0 5 0】

【数 1 8】

$$-M_p G_g = H_t D_g \quad \dots (18)$$

なる関係式が満たされるのが好適である。この場合には、光学部品 1 においてプリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  の温度係数  $G_t$  の絶対値は、この (18) 式が満たされる温度において 0 となり、また、上記温度範囲において小さい。

【0 0 5 1】

このような光学部品 1 が WDM 光通信において用いられる場合、温度範囲  $-20^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$  に含まれる何れかの温度において、比  $(G_t/D_t)$  の絶対値は小さい方が好ましい。ここで、比  $(G_t/D_t)$  は、プリズム 2 0 出射後の或る観測領域に到達する光の波長帯域の温度依存性を表している。

【0 0 5 2】

例えば、信号光波長帯域が C バンド ( $1.53 \mu\text{m} \sim 1.565 \mu\text{m}$ ) である場合、信号光の光周波数間隔が  $100 \text{ GHz}$  であるときには、比  $(G_t/D_t)$  の絶対値は  $11.4 \text{ pm}/^\circ\text{C}/\mu\text{m}$  ( $=0.4 \text{ pm}/^\circ\text{C}/(1.565 \mu\text{m} - 1.53 \mu\text{m})$ ) 以下であるのが好適であり、信号光の光周波数間隔が  $50 \text{ GHz}$  であるときには、比  $(G$

$G_t/D_t$ ) の絶対値は  $5.7 \text{ pm}/^\circ\text{C}/\mu\text{m}$  ( $=0.2 \text{ pm}/^\circ\text{C}/(1.565 \mu\text{m}-1.53 \mu\text{m})$ ) 以下であるのが好適である。

## 【0053】

信号光波長帯域がLバンド ( $1.565 \mu\text{m} \sim 1.625 \mu\text{m}$ ) である場合、信号光の光周波数間隔が  $100 \text{ GHz}$  であるときには、比 ( $G_t/D_t$ ) の絶対値は  $6.7 \text{ pm}/^\circ\text{C}/\mu\text{m}$  以下であるのが好適であり、信号光の光周波数間隔が  $50 \text{ GHz}$  であるときには、比 ( $G_t/D_t$ ) の絶対値は  $3.3 \text{ pm}/^\circ\text{C}/\mu\text{m}$  以下であるのが好適である。

## 【0054】

また、信号光波長帯域がCバンドおよびLバンドの双方を含む場合、信号光の光周波数間隔が  $100 \text{ GHz}$  であるときには、比 ( $G_t/D_t$ ) の絶対値は  $4.2 \text{ pm}/^\circ\text{C}/\mu\text{m}$  以下であるのが好適であり、信号光の光周波数間隔が  $50 \text{ GHz}$  であるときには、比 ( $G_t/D_t$ ) の絶対値は  $2.1 \text{ pm}/^\circ\text{C}/\mu\text{m}$  以下であるのが好適である。

## 【0055】

以上のように、光学部品1において、光学部品1としての出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  の絶対値を拡大するとともに、該出射角  $\theta_5$  の温度係数  $F_t$  の絶対値を小さくすることができ、該角分散  $D_t$  の温度係数  $G_t$  の絶対値を小さくすることもできる。上記諸式を満たすよう、プリズム20の屈折率  $n_1$  および屈折率  $n_1$  の温度係数、第1面21の傾斜角  $\phi_0$  ならびに第2面22の傾斜角  $\phi_1$  が適切に設計されればよい。

## 【0056】

なお、プリズム20から回折格子素子10への反射戻り光があると、光の干渉に困り回折効率が劣化する。そこで、プリズム20または回折格子素子10に反射低減処理を施すのが好ましい。例えば、プリズム20の表面に施した反射低減膜により、使用する回折次数の光の反射を低減し、他の次数の光がプリズム20に入射しないようにプリズム20の幅を調整したりスリットで遮断したりするのが好ましい。また、プリズム20の角度や位置を調整することで、反射光の位置や角度をずらせて、光の干渉が生じないようにするのも好ましい。

## 【0057】

次に、本実施形態に係る光学部品1の具体的な実施例1～4について説明する。そのうち実施例1～3それぞれでは、回折格子素子10が石英ガラスからなり、格子周期 $\Lambda$ が $1.012\text{ }\mu\text{m}$ であり、格子周期 $\Lambda$ の線膨張係数が $5\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ であり、周囲媒質が大気圧の空気( $n_0=1$ )であり、温度 $30^{\circ}\text{C}$ における周囲媒質の屈折率 $n_0$ の温度係数( $1/n_0 \cdot dn_0/dT$ )が $-8.6\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ である。また、中心波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ の光を回折格子素子10に入射させ、そのときの入射角 $\theta_0$ が $50$ 度である。このとき、回折格子素子10単体においては、 $-1$ 次光の回折角 $\theta_1$ は $-50.0$ 度であり、回折格子素子10における角分散 $D_g$ は $-88.1\text{ 度}/\mu\text{m}$ であり、回折角 $\theta_1$ の温度係数 $F_g$ は $-4.90\times 10^{-5}\text{ 度}/^{\circ}\text{C}$ であり、角分散 $D_g$ の温度係数 $G_g$ は $-1.21\times 10^{-4}\text{ 度}/\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$ であり、波長シフト量( $F_g/D_g$ )は $0.556\text{ pm}/^{\circ}\text{C}$ であり、波長帯域変化量( $G_g/D_g$ )は $1.38\text{ pm}/^{\circ}\text{C}/\mu\text{m}$ である。

## 【0058】

実施例1では、プリズム20はオハラ社製のガラスS-PHM52からなる。このガラスは、屈折率 $n_1$ が $1.60$ であり、屈折率 $n_1$ の温度係数( $1/n_1 \cdot dn_1/dT$ )が $-3.42\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ である。上記(9)式、上記(13)式および上記(18)式を満たす各パラメータを求めると以下のとおりである。プリズム20の第1面21の傾斜角 $\phi_0$ は $-2.37$ 度であり、プリズム20の第2面22の傾斜角 $\phi_1$ は $-5.94$ 度であり、プリズム20の第1面21に入射する光の入射角 $\theta_2$ は $-52.4$ 度であり、プリズム20の第2面22から出射する光の出射角 $\theta_5$ は $-68.7$ 度である。光学部品1全体においては、プリズム20の第2面22から出射する光の出射角 $\theta_5$ の角分散 $D_t$ は $-139\text{ 度}/\mu\text{m}$ であり、該出射角 $\theta_5$ の温度係数 $F_t$ は略 $0\text{ 度}/^{\circ}\text{C}$ であり、該角分散 $D_t$ の温度係数 $G_t$ は略 $0\text{ 度}/\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$ である。波長シフト量( $F_t/D_t$ )は略 $0\text{ pm}/^{\circ}\text{C}$ であり、波長帯域変化量( $G_t/D_t$ )は略 $0\text{ pm}/^{\circ}\text{C}/\mu\text{m}$ である。また、プリズム20による角分散の拡大率 $M_p$ は $1.57$ である。このように、実施例1では、角分散 $D_t$ の絶対値を大きくできるとともに、出射角 $\theta_5$ の温度係数 $F_t$ および角分散 $D_t$ の温度係数 $G_t$ の双方を殆ど0にすることができて、温度制御機構を不要化または

簡略化することができる。

【 0 0 5 9 】

実施例 2 では、プリズム 2 0 がオハラ社製のガラス S-PHM 5 2 からなる点では実施例 1 と同様であるが、プリズム 2 0 の第 1 面 2 1 の傾斜角  $\phi_0$  は 0 度とする。そして、上記(9)式および上記(13)式を満たす各パラメータを求めると以下のとおりである。プリズム 2 0 の第 2 面 2 2 の傾斜角  $\phi_1$  は - 6 . 3 1 度であり、プリズム 2 0 の第 1 面 2 1 に入射する光の入射角  $\theta_2$  は - 5 0 . 0 度であり、プリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  は - 6 6 . 3 度である。光学部品 1 全体においては、プリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  は - 1 3 2 度 /  $\mu\text{m}$  であり、該出射角  $\theta_5$  の温度係数  $F_t$  は略 0 度 /  $^{\circ}\text{C}$  であり、該角分散  $D_t$  の温度係数  $G_t$  は  $-1.13 \times 10^{-5}$  度 /  $\mu\text{m} / ^{\circ}\text{C}$  である。波長シフト量 ( $F_t / D_t$ ) は略 0  $\text{pm} / ^{\circ}\text{C}$  であり、波長帯域変化量 ( $G_t / D_t$ ) は 0 . 0 9  $\text{pm} / ^{\circ}\text{C} / \mu\text{m}$  である。また、プリズム 2 0 による角分散の拡大率  $M_p$  は 1 . 5 0 である。このように、実施例 2 では、角分散  $D_t$  の絶対値を大きくすることができるとともに、出射角  $\theta_5$  の温度係数  $F_t$  を殆ど 0 にすることができ、また、角分散  $D_t$  の温度係数  $G_t$  を極めて小さい値にすることができて、温度制御機構を不要化または簡略化することができる。

【 0 0 6 0 】

実施例 3 では、プリズム 2 0 の材料であるガラスの組成を調整することにより、屈折率  $n_1$  および該屈折率の温度係数を好適化する。例えば、プリズム 2 0 の材料であるガラスの屈折率  $n_1$  を 1 . 4 4 とし、該屈折率の温度係数を  $-3.58 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$  とする。そして、上記(9)式、上記(13)式および上記(18)式を満たす各パラメータを求めると以下のとおりである。プリズム 2 0 の第 1 面 2 1 の傾斜角  $\phi_0$  は 0 度であり、プリズム 2 0 の第 2 面 2 2 の傾斜角  $\phi_1$  は - 6 . 3 1 度であり、プリズム 2 0 の第 1 面 2 1 に入射する光の入射角  $\theta_2$  は - 5 0 . 0 度であり、プリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  は - 6 3 . 5 度である。光学部品 1 全体においては、プリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  は - 1 1 8 度 /  $\mu\text{m}$  であり、該出射角  $\theta_5$  の温度係数  $F_t$  は略 0 度 /  $^{\circ}\text{C}$  であり、該角分散  $D_t$  の温度係数  $G_t$  は略 0 度 /  $\mu\text{m} / ^{\circ}\text{C}$  である。波長シフト

量 ( $F_t/D_t$ ) は略 0 p m/°C であり、波長帯域変化量 ( $G_t/D_t$ ) は略 0 p m/°C/μm である。また、プリズム 20 による角分散の拡大率  $M_p$  は 1.33 である。このように、実施例 3 では、角分散  $D_t$  の絶対値を大きくすることができるとともに、出射角  $\theta_5$  の温度係数  $F_t$  および角分散  $D_t$  の温度係数  $G_t$  の双方を殆ど 0 にすることができて、温度制御機構を不要化または簡略化することができる。

## 【0061】

なお、上記の実施例 2 および実施例 3 では、プリズム 20 の第 1 面 21 の傾斜角  $\phi_0$  は 0 度であって、プリズム 20 の第 1 面 21 と回折格子素子 10 の下面とは互いに平行であるから、図 2 に示されるように、プリズム 20 の第 1 面 21 と回折格子素子 10 の下面とを互いに貼り合わせるのが好適であり、このようにすることにより光学部品 1 の製造および取り扱いが容易となる。また、このように貼り合わせるに際しては、回折格子素子 10 およびプリズム 20 それぞれの線膨張係数の差が 0 (または極めて小さい) のが好適であり、このようにすることにより、上記の設計どおりの性能を実現することができる。

## 【0062】

また、上記の実施例 1～3 における回折格子素子 10 では、

## 【0063】

## 【数 19】

$$\frac{1}{n_0 \Lambda} \frac{d}{dT} (n_0 \Lambda) = \frac{1}{n_0} \frac{dn_0}{dT} + \frac{1}{\Lambda} \frac{d\Lambda}{dT} \quad \dots (19)$$

なる式で表される積 ( $n_0 \Lambda$ ) の温度係数は、 $-3.6 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$  であって、負であるのが特徴である。さらに、この温度依存性を打ち消すために、プリズム 20 では、

## 【0064】

## 【数 20】

$$\frac{1}{n_1/n_0} \frac{d}{dT} \left( \frac{n_1}{n_0} \right) = \frac{1}{n_1} \frac{dn_1}{dT} - \frac{1}{n_0} \frac{dn_0}{dT} \quad \dots (20)$$

なる式で表される比 ( $n_1/n_0$ ) の温度係数も負であるのが特徴である。

## 【0065】

以下に説明する実施例 4 では、積 ( $n_0 \Lambda$ ) の温度係数は正である。周囲媒質の屈折率  $n_0$  に対する回折格子素子 10 の材料の屈折率の比が大きいほど、回折格子の凸条の高さが低くても回折効率が大きいから、製造が容易である。しかし、このような高屈折率のガラスは、一般に線膨張係数が  $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  以上であり、積 ( $n_0 \Lambda$ ) の温度係数が正となる。

## 【0066】

実施例 4 では、格子周期  $\Lambda$  が  $1.012 \mu\text{m}$  であり、格子周期  $\Lambda$  の線膨張係数が  $6.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  であり、周囲媒質が大気圧の空気 ( $n_0 = 1$ ) であり、温度  $30^{\circ}\text{C}$  における周囲媒質の屈折率  $n_0$  の温度係数が  $-8.6 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  である。また、中心波長  $1.55 \mu\text{m}$  の光を回折格子素子 10 に入射させ、そのときの入射角  $\theta_0$  が  $50$  度である。このとき、回折格子素子 10 単体においては、 $-1$  次光の回折角  $\theta_1$  は  $-50.0$  度であり、回折格子素子 10 における角分散  $D_g$  は  $-88.1$  度/ $\mu\text{m}$  であり、回折角  $\theta_1$  の温度係数  $F_g$  は  $7.84 \times 10^{-4}$  度/ $^{\circ}\text{C}$  であり、角分散  $D_g$  の温度係数  $G_g$  は  $1.94 \times 10^{-3}$  度/ $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$  であり、波長シフト量 ( $F_g/D_g$ ) は  $-8.90 \text{ pm}/^{\circ}\text{C}$  であり、波長帯域変化量 ( $G_g/D_g$ ) は  $-22.1 \text{ pm}/^{\circ}\text{C}/\mu\text{m}$  である。

## 【0067】

この実施例 4 では、積 ( $n_0 \Lambda$ ) の温度係数の絶対値は、石英ガラスの場合より 1 桁以上大きいから、プリズム 20 の屈折率  $n_1$  の温度係数の絶対値も、石英ガラスの場合より 1 桁以上大きいことが必要である。したがって、プリズム 20 の材料は、半導体であるのが好適であり、特にシリコンであるのが好適である。シリコンは、屈折率が  $3.48$  であり、屈折率の温度係数が  $45.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  である。プリズム 20 がシリコンからなるものとして、上記(9)式、上記(13)式および上記(18)式を満たす各パラメータを求めると以下のとおりである。

## 【0068】

プリズム 20 の第 1 面 21 の傾斜角  $\phi_0$  は  $-7.41$  度であり、プリズム 20 の第 2 面 22 の傾斜角  $\phi_1$  は  $-2.50$  度であり、プリズム 20 の第 1 面 21 に入射する光の入射角  $\theta_2$  は  $-57.4$  度であり、プリズム 20 の第 2 面 22 から出射する光の出射角  $\theta_5$  は  $-81.5$  度である。光学部品 1 全体においては、プリズム 2

0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  は  $-319$  度/ $\mu\text{m}$  であり、該出射角  $\theta_5$  の温度係数  $F_t$  は略  $0$  度/ $^{\circ}\text{C}$  であり、該角分散  $D_t$  の温度係数  $G_t$  は略  $0$  度/ $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$  である。波長シフト量 ( $F_t/D_t$ ) は略  $0$   $\text{pm}/^{\circ}\text{C}$  であり、波長帯域変化量 ( $G_t/D_t$ ) は略  $0$   $\text{pm}/^{\circ}\text{C}/\mu\text{m}$  である。また、プリズム 2 0 による角分散の拡大率  $M_p$  は  $3.62$  である。

## 【0069】

このように、実施例 4 でも、角分散  $D_t$  の絶対値を大きくすることができるとともに、出射角  $\theta_5$  の温度係数  $F_t$  および角分散  $D_t$  の温度係数  $G_t$  の双方を殆ど 0 にすることができて、温度制御機構を不要化または簡略化することができる。特に、実施例 4 では、プリズム 2 0 の材料として屈折率  $n_1$  の温度係数の絶対値が大きい半導体を用いることにより、回折格子素子 1 0 の材料として線膨張係数が大きい光学ガラスを用いることができる。そして、線膨張係数が大きい光学ガラスは屈折率が高いので、この光学ガラスを用いることで、回折格子の凸条の高さが低くても回折効率が大きい回折格子素子 1 0 を容易に製造することができる。

## 【0070】

また、プリズム 2 0 の材料として他の半導体が用いられてもよく、Si (屈折率の温度係数  $= 45.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) の他に、例えば、ZnS (屈折率の温度係数  $= 19.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )、InP (屈折率の温度係数  $= 27 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )、GaAs (屈折率の温度係数  $= 59 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )、ZnSe (屈折率の温度係数  $= 52 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) および InGaAsP (屈折率の温度係数  $= 65 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) などが好適に用いられ得る。なお、上記の各種の半導体の屈折率の温度係数は、光通信に用いられる波長における値であり、何れも通常の光学ガラスより絶対値が大きい。

## 【0071】

以上の説明では、光学部品 1 が光分波器として動作するものとして光学部品 1 を説明してきたが、上記とは逆方向に光が進む場合には、この光学部品 1 は光合波器として動作することができる。

## 【0072】



また、図3に示されるように、プリズム20の第2面22から出射する光を反射させる反射鏡31～34とともに光学部品1が用いられる場合には、この光学部品1および反射鏡31～34を含む光学装置2は、入射した光を光学部品1により分波した後に、その分波した各波長の光を反射鏡31～34により反射させ、その反射した光を光学部品1により合波する。このとき、分波から合波に至るまでの各波長の光路長（すなわち、反射鏡31～34の位置）を適切に設定することにより、この光学装置2は、各波長の光の群遅延時間を調整する分散調整器として用いられ得る。なお、この光学装置2は光サーキュレータとともに用いられる（図6参照）。

## 【0073】

また、図4に示されるように、プリズム20の第2面22から出射する光のパワーを検出する受光素子41～44とともに光学部品1が用いられる場合には、この光学部品1および受光素子41～44を含む光学装置3は、各波長の光のパワーを検出するスペクトル検出装置として用いられ得る。

## 【0074】

また、図5に示されるように、上記の光学部品1と同様の構成の2つの光学部品1a、1bならびに光アッテネータ51～54を含む光学装置4は、入射した光を光学部品1a（光分波器）により分波した後に、その分波した各波長の光に対して所定の損失を光アッテネータ51～54により付与し、その後に各波長の光を光学部品1b（光合波器）により合波する。この光学装置4は、光フィルタとして用いられ、また、光増幅器の利得を等化する利得等化器として用いられ得る。なお、図3に示される構成において、光学部品1と反射鏡31～34との間に光アッテネータを挿入することでも、光フィルタを実現することができる。

## 【0075】

上述したように、光学部品1を含む光学装置は、光分波器、光合波器、分散調整器、スペクトル検出装置および光フィルタ等として、WDM光通信システムにおいて好適に用いられる。また、これらの光学装置は、レーザダイオード、フォトダイオードおよびMEMS（Micro Electro Mechanical System）などの半導体部品をも含む場合がある。ところで、一般に、半導体部品は、水素や水蒸気の

影響に因る劣化を防止するため、気密封止される。また、半導体部品を含まない光学装置でも、気密封止することにより、回折格子素子 1 0 やプリズム 2 0 への異物の付着を抑制することで、良好な特性を維持することができる。以下では、気密封止による回折特性の温度依存性の低減について具体例を示す。

【 0 0 7 6 】

ガスの屈折率  $n$  は、一般に

【 0 0 7 7 】

【数 2 1】

$$n = 1 + \Delta n \quad \dots (21)$$

なる式で表される。ここで、 $\Delta n$  は、真空の屈折率との差を表しており、ガスにより異なり、He, Ne, Ar および  $N_2$  それぞれについては温度 0℃ で 1 気圧のときの値が

【 0 0 7 8 】

【数 2 2】

$$\text{He} \quad \Delta n = 0.35 \times 10^{-4} \quad \dots (22a)$$

$$\text{Ne} \quad \Delta n = 0.67 \times 10^{-4} \quad \dots (22b)$$

$$\text{Ar} \quad \Delta n = 2.84 \times 10^{-4} \quad \dots (22c)$$

$$N_2 \quad \Delta n = 2.97 \times 10^{-4} \quad \dots (22d)$$

のとおりである。

【 0 0 7 9 】

温度または圧力が変化すると、ガスの密度に略比例して  $\Delta n$  が変化する。気密封止時におけるガス密度を  $\rho_0$  とし、気密封止時におけるガス温度を  $T_0$  とし、ガスの体積膨張率を  $\gamma$  とする。このとき、温度  $T$  の時のガスの屈折率  $n$  は、

【 0 0 8 0 】

【数 2 3】

$$n = 1 + \Delta n \frac{\rho}{\rho_0} \quad \dots (23)$$

なる式で表され、温度  $T$  の時のガスの密度  $\rho$  は、

【0081】

【数24】

$$\frac{\rho}{\rho_0} = 1 - \gamma(T - T_0) \quad \cdots (24)$$

なる式で表される。よって、気密封止時のガスの屈折率の温度係数  $\beta$  は、

【0082】

【数25】

$$\beta = \frac{1}{n} \frac{dn}{dT} \approx -\Delta n \gamma \quad \cdots (25)$$

なる式で表される。

【0083】

光学部品1（および半導体部品）を収納して封止する筐体の材質がAlである場合、その筐体の線膨張係数が  $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  であるので、その筐体の内部にあるガスの体積膨張率  $\gamma$  は  $69 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  ( $=3 \times 23 \times 10^{-6}$ ) となる。よって、気密封止時のガスの屈折率の温度係数  $\beta$  は、Heガスの場合には  $-0.024 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$  であり、 $\text{N}_2$ ガスの場合には  $-0.20 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$  である。

【0084】

これらの気密封止時のガスの屈折率の温度係数  $\beta$  の値は、石英ガラスの線膨張係数  $5 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$  と比較して、絶対値が1桁以上も小さい。また、大気圧中では、ガスの体積膨張率は、絶対温度に反比例し、例えば温度  $0^\circ\text{C}$  では  $3.7 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$  ( $=1/273$ ) であるから、Alの筐体で気密封止されたガスの体積膨張率  $\gamma$  は、大気圧中でのガスの体積膨張率と比較して、絶対値が2桁以上も小さい。

【0085】

したがって、Alのような線膨張係数が大きい材料からなる筐体を用いて気密封止をすれば、真空を含め、回折格子素子10やプリズム20の周囲にある媒質（一般にはガス）の屈折率  $n_0$  の温度依存性は、無視し得るほどに小さくなる。なお、封止される場合であっても、回折格子素子10やプリズム20の周囲にある媒質が樹脂のように線膨張係数が大きい場合には、気密封止時のガスの屈折率

の温度係数  $\beta$  を考慮して上記(9)式や(12)式などを満たす必要がある。

【 0 0 8 6 】

次に、このような気密封止した光学部品の実施例について説明する。この実施例では、回折格子素子 1 0 およびプリズム 2 0 は、A 1 より線膨張係数が小さい材料からなる筐体の内部に設けられて封止される。回折格子素子 1 0 が石英ガラスからなり、格子周期  $\Lambda$  が  $1.012 \mu\text{m}$  であり、格子周期  $\Lambda$  の線膨張係数が  $5 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$  であり、周囲媒質の屈折率  $n_0$  は 1 であり、周囲媒質の屈折率  $n_0$  の温度係数は無視し得るほどに小さいとする。また、中心波長  $1.55 \mu\text{m}$  の光を回折格子素子 1 0 に入射させ、そのときの入射角  $\theta_0$  が 50 度である。このとき、回折格子素子 1 0 単体においては、-1 次光の回折角  $\theta_1$  は -50.0 度であり、回折格子素子 1 0 における角分散  $D_g$  は  $-88.1 \text{ 度}/\mu\text{m}$  であり、回折角  $\theta_1$  の温度係数  $F_g$  は  $6.83 \times 10^{-5} \text{ 度}/^\circ\text{C}$  であり、角分散  $D_g$  の温度係数  $G_g$  は  $1.69 \times 10^{-4} \text{ 度}/\mu\text{m}/^\circ\text{C}$  であり、波長シフト量 ( $F_g/D_g$ ) は  $-0.775 \text{ pm}/^\circ\text{C}$  であり、波長帯域変化量 ( $G_g/D_g$ ) は  $-1.92 \text{ pm}/^\circ\text{C}/\mu\text{m}$  である。

【 0 0 8 7 】

プリズム 2 0 は石英ガラスからなる。この石英ガラスは、屈折率  $n_1$  が 1.45 であり、屈折率  $n_1$  の温度係数 ( $1/n_1 \cdot dn_1/dT$ ) が  $6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$  である。プリズム 2 0 の第 1 面 2 1 の傾斜角  $\phi_0$  は 0 度とする。そして、上記(9)式および上記(13)式を満たす各パラメータを求めると以下のとおりである。プリズム 2 0 の第 2 面 2 2 の傾斜角  $\phi_1$  は -4.09 度であり、プリズム 2 0 の第 1 面 2 1 に入射する光の入射角  $\theta_2$  は -50.0 度であり、プリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  は -58.4 度である。光学部品 1 全体においては、プリズム 2 0 の第 2 面 2 2 から出射する光の出射角  $\theta_5$  の角分散  $D_t$  は  $-103 \text{ 度}/\mu\text{m}$  であり、該出射角  $\theta_5$  の温度係数  $F_t$  は略 0 度/ $^\circ\text{C}$  であり、該角分散  $D_t$  の温度係数  $G_t$  は  $4.98 \times 10^{-6} \text{ 度}/\mu\text{m}/^\circ\text{C}$  である。波長シフト量 ( $F_t/D_t$ ) は略 0  $\text{pm}/^\circ\text{C}$  であり、波長帯域変化量 ( $G_t/D_t$ ) は  $-0.04 \text{ pm}/^\circ\text{C}/\mu\text{m}$  である。また、プリズム 2 0 による角分散の拡大率  $M_p$  は 1.17 である。このように、この実施例では、角分散  $D_t$  の絶対値を大きくすることができるとともに、

出射角 $\theta_5$ の温度係数 $F_t$ を殆ど0にすることができ、また、角分散 $D_t$ の温度係数 $G_t$ を極めて小さい値にすることができて、温度制御機構を不要化または簡略化することができる。

## 【0088】

なお、この実施例では、回折格子素子10およびプリズム20それぞれの材質が同じであるから、回折格子素子10とプリズム20とを貼り合わせても、設計どおりの性能を実現することができ、光学部品1の製造および取り扱いが容易となる。また、回折格子素子10およびプリズム20が一体になっていてもよく、プリズムの一面に回折格子が形成されていてもよい。

## 【0089】

次に、本発明に係る光通信システムの実施形態について説明する。図6は、本実施形態に係る光通信システム100の構成図である。この図に示される光通信システム100は、光送信器110、光中継器120および光受信器130を備えていて、光送信器110と光中継器120の間に光ファイバ伝送路140が敷設され、光中継器120と光受信器130の間に光ファイバ伝送路150が敷設されたものである。

## 【0090】

光送信器110は、光源111～114および光合波器115を備える。光源111～114は、互いに異なる波長の信号光を出力する。光合波器115は、これら光源111～114から出力された信号光を合波して、その合波した多波長の信号光を光ファイバ伝送路140へ出力する。

## 【0091】

光中継器120は、光増幅器121、利得等化器122、光カプラ123およびスペクトル検出装置124を備える。光増幅器121は、光ファイバ伝送路140により伝送されて到達した信号光を入力し、この信号光を光増幅して出力する。利得等化器122は、光増幅器121から出力された信号光を入力して、その信号光に対して波長に応じた損失を付与することで、光増幅器121の利得を等化する。光カプラ123は、利得等化器122から出力された信号光の一部を分岐してスペクトル検出装置124へ出力するとともに、残部を光ファイバ伝送

路 1 5 0 へ出力する。スペクトル検出装置 1 2 4 は、光カプラ 1 2 3 から到達した信号光のパワーを波長毎にモニタする。そして、スペクトル検出装置 1 2 4 によるモニタ結果に基づいて、光増幅器 1 2 1 および利得等化器 1 2 2 それぞれの動作が制御される。

## 【 0 0 9 2 】

光受信器 1 3 0 は、受光部 1 3 1 ~ 1 3 4、光分波器 1 3 5、光サーキュレータ 1 3 6 および分散調整器 1 3 7 を備える。光サーキュレータ 1 3 6 は、光ファイバ伝送路 1 5 0 により伝送されて到達した信号光を入力して、その信号光を分散調整器 1 3 7 へ出力する。また、光サーキュレータ 1 3 6 は、分散調整器 1 3 7 から到達した信号光を入力して、その信号光を光分波器 1 3 5 へ出力する。光分波器 1 3 5 は、分散調整器 1 3 7 から出力された多波長の信号光を入力し、その信号光を波長毎に分波して、各波長の信号光を受光部 1 3 1 ~ 1 3 4 へ出力する。受光部 1 3 1 ~ 1 3 4 は、光分波器 1 3 5 から到達した信号光を受信する。

## 【 0 0 9 3 】

この光通信システム 1 0 0 は以下のように動作する。光送信器 1 1 0 においては、光源 1 1 1 ~ 1 1 4 それぞれから出力された信号光は、光合波器 1 1 5 により合波されて、光ファイバ伝送路 1 4 0 へ出力される。光中継器 1 2 0 においては、光ファイバ伝送路 1 4 0 により伝送されて到達した多波長の信号光は、光増幅器 1 2 1 により光増幅され、利得等化器 1 2 2 により波長毎のパワーが均一にされて、光ファイバ伝送路 1 5 0 へ出力される。また、光ファイバ伝送路 1 5 0 へ出力される各波長の信号光のパワーがスペクトル検出装置 1 2 4 によりモニタされ、そのモニタ結果に基づいて光増幅器 1 2 1 および利得等化器 1 2 2 それぞれの動作が制御されて、光中継器 1 2 0 へ到達する信号光の波数に変動した場合などにおいても、光ファイバ伝送路 1 5 0 へ出力される各波長の信号光のパワーが均一にされる。光受信器 1 3 0 においては、光ファイバ伝送路 1 5 0 により伝送されて到達した多波長の信号光は、光サーキュレータ 1 3 6 を経て分散調整器 1 3 7 へ入力し、この分散調整器 1 3 7 により分散補償され、再び光サーキュレータ 1 3 6 を経て光分波器 1 3 5 へ入力する。光分波器 1 3 5 へ入力した多波長の信号光は、光分波器 1 3 5 により波長毎に分波されて、受光部 1 3 1 ~ 1 3 4

により受信される。

【 0 0 9 4 】

このような光通信システム 1 0 0 において、光合波器 1 1 5 および光分波器 1 3 5 それぞれとして上記の光学部品 1 が用いられ、利得等化器 1 2 2 として上記の光学装置 4 が用いられ、スペクトル検出装置 1 2 4 として上記の光学装置 3 が用いられ、また、分散調整器 1 3 7 として上記の光学装置 2 が用いられる。したがって、この光通信システム 1 は、光学部品 1 の出射角の温度依存性が小さいことから、温度制御機構を不要化または簡略化することができる。また、光学部品 1 の角分散の絶対値が大きいことから、各装置を小型化することができる。

【 0 0 9 5 】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、出射角の角分散の絶対値を拡大するとともに、該出射角の温度依存性を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本実施形態に係る光学部品 1 の説明図である。

【図 2】

他の実施形態に係る光学部品 1 の説明図である。

【図 3】

本実施形態に係る光学装置 2 の構成図である。

【図 4】

本実施形態に係る光学装置 3 の構成図である。

【図 5】

本実施形態に係る光学装置 4 の構成図である。

【図 6】

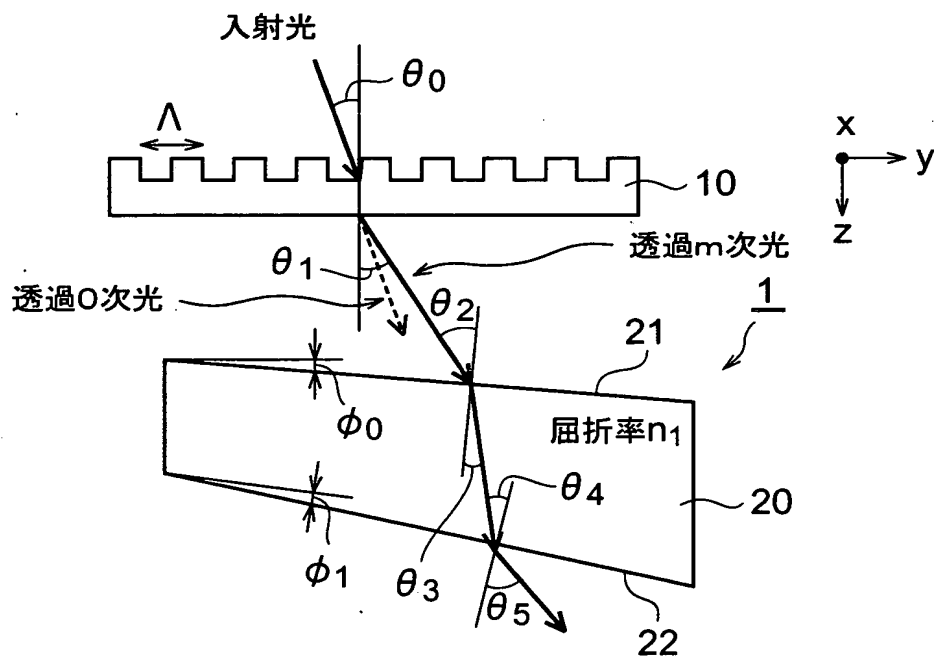
本実施形態に係る光通信システム 1 0 0 の構成図である。

【符号の説明】

1 … 光学部品、 2 ～ 4 … 光学装置、 1 0 … 回折格子素子、 2 0 … プリズム、 1 0 0 … 光通信システム。

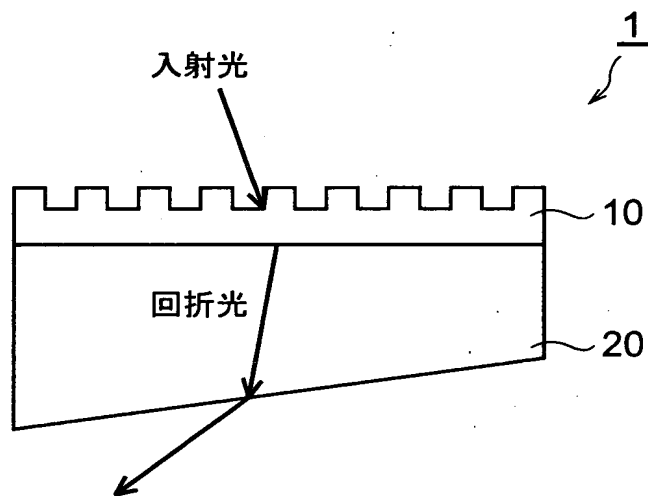
【書類名】 図面

【図 1】

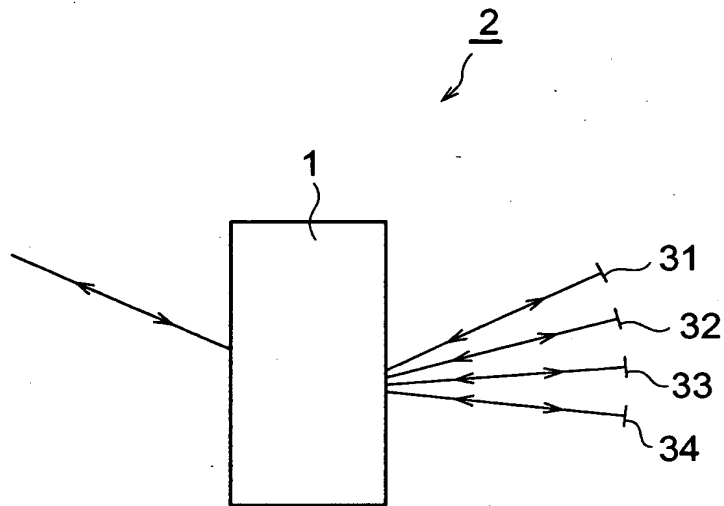




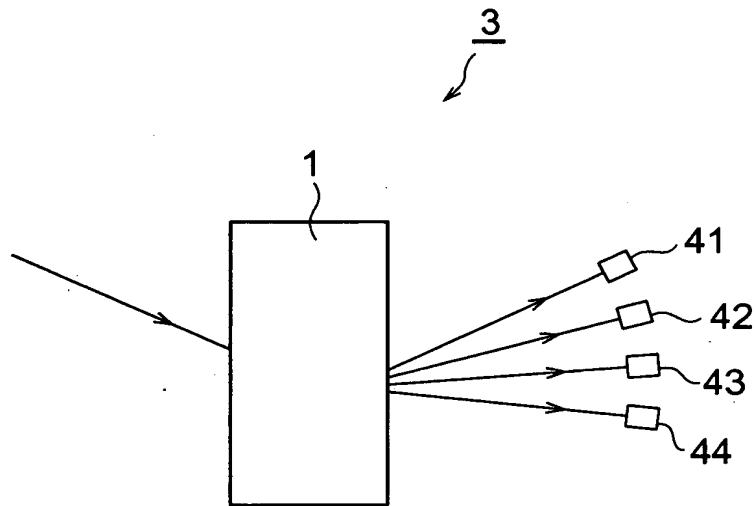
【図 2】



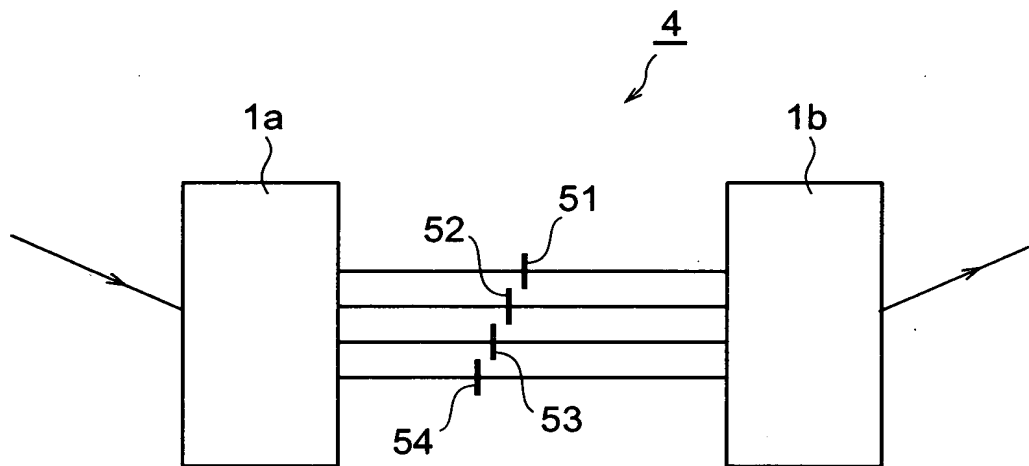
【図 3】



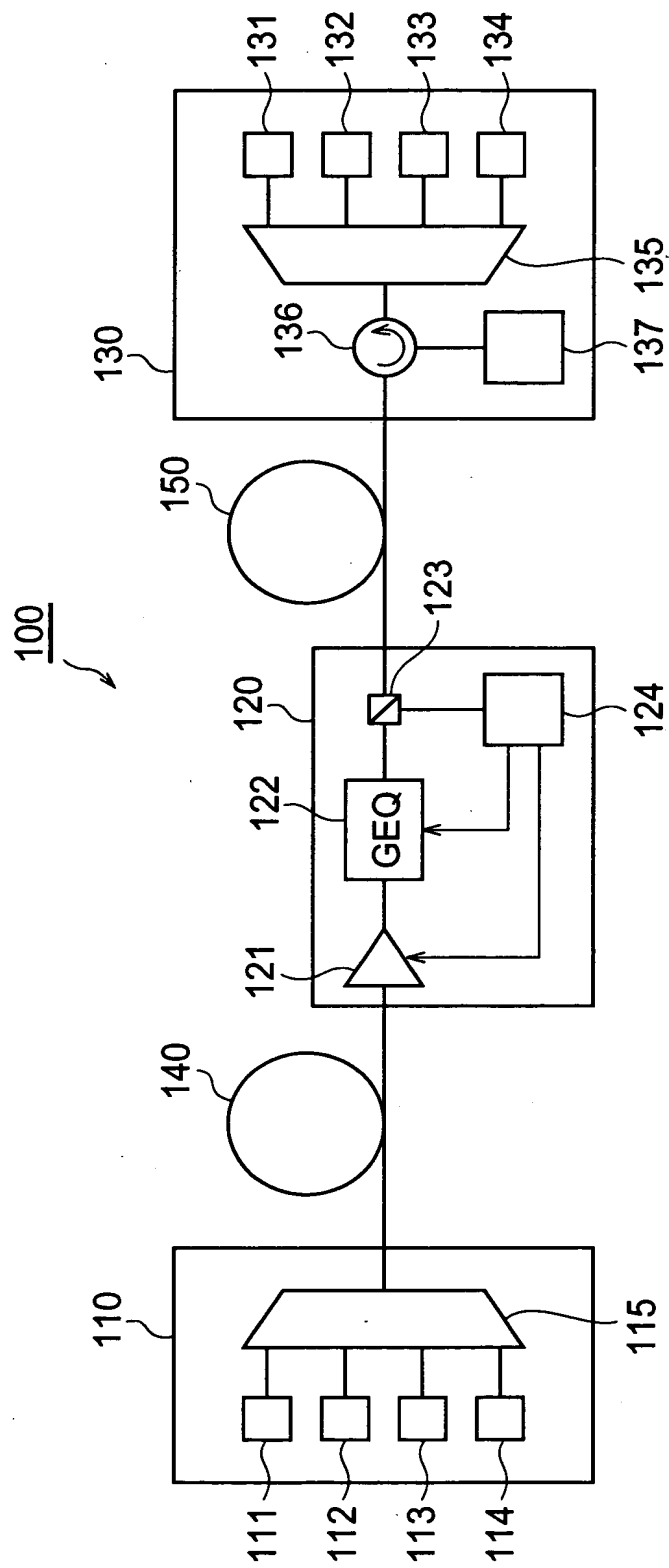
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 角分散の絶対値を大きくできるとともに回折角の温度依存性を低減することができる光学部品を提供する。

【解決手段】 プリズム20は屈折率 $n_1$ の材料からなり、回折格子素子10およびプリズム20の周囲の媒質の屈折率は $n_0$ である。回折格子素子に波長 $\lambda$ の光が入射角 $\theta_0$ で入射するとして、回折格子素子からプリズムの第1面21に入射する光の入射角を $\theta_2$ とし、プリズムの第2面22から出射する光の出射角を $\theta_5$ とし、回折格子素子における回折角の温度係数を $F_g$ とし、入射角 $\theta_2$ が温度に依らず一定であると仮定した場合の出射角 $\theta_5$ の温度係数を $F_p$ とし、プリズムによる角分散の拡大率を $M_p$ としたときに、「 $n_1 > n_0$ かつ $|\theta_5| > |\theta_2|$ 」または「 $n_1 < n_0$ かつ $|\theta_5| < |\theta_2|$ 」なる関係式を満たすとともに「 $-2M_p F_g < F_p < 0$ 」または「 $-2M_p F_g > F_p > 0$ 」なる関係式を満たす。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名	住友電気工業株式会社